

Vergleichende Untersuchungen
mit verschiedenen Drehzahlen
zur Standardisierung
der ergometrischen Methodik

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
am Fachbereich 12 (Erziehungswissenschaften)
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Somchai Prasertsiriphandha
aus Nakorn Pathom

Berlin 1976

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Vergleichende Untersuchungen
mit verschiedenen Drehzahlen
zur Standardisierung
der ergometrischen Methodik



Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
am Fachbereich 12 (Erziehungswissenschaften)
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Somchai Prasertsiriphandha
aus Nakorn Pathom

Berlin 1976

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen
Akademischen Austauschdienstes

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches 12
(Erziehungswissenschaften) der Freien Universität
Berlin



Vorsitzender des
Fachbereichs : Professor Dr. Riedel
Referent : Professor Dr. H. Mellerowicz
Koreferent : Professor Dr. H. Stoboy

Tag der mündlichen Prüfung : 26.8.1976

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Begründung
2. Methodik
 - 2.1 Untersuchungsgut
 - 2.2 Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen
 - 2.3 Meßgeräte
 - 2.4 Leistungsumsatzbedingungen
 - 2.5 Methodik der Herzfrequenzmessung
 - 2.6 Statistische Methodik
 - 2.7 Kritik der Methodik
3. Untersuchungsergebnisse
 - 3.1 Übersicht in Tabellenform
 - 3.2 Graphische Darstellung
4. Beurteilung der Ergebnisse
5. Zusammenfassung
6. Literatur

1. Einleitung und Begründung

Zur Bestimmung der körperlichen und organischen Leistungsfähigkeit des Menschen sind verschiedene Testverfahren entwickelt worden. Ergometrische Untersuchungsmethoden sind in besonderem Maße geeignet, da sie in den internationalen Maßeinheiten mkp/sec bzw. Watt meßbare, vergleichbare und reproduzierbare Meßergebnisse liefern. Eine dieser ergometrischen Untersuchungsmethoden ist die Bestimmung der PWC₁₇₀. Diese Methode beruht auf der Linearität zwischen ansteigender Leistung und Herzfrequenz in 3 - 6 submaximalen Leistungsstufen von 10 Watt/1 min. oder 25 Watt/2 min. oder 50 Watt/3-6 min. Die gefundenen Meßwerte liegen bei exakter Methodik auf einer Geraden, deren Schnittpunkt mit der Ordinate bei Herzfrequenz 170 die PWC₁₇₀ in Watt bzw. mkp/sec ergibt.

Ergometrische Meßdaten sind jedoch nur dann vergleichbar, wenn bei einer bestimmten Testmethode nicht nur die Leistungsstufen, sondern auch die Tretfrequenz/min. (Drehzahl) standardisiert sind. Zur Zeit gibt es nur die Internationalen Standardisierungsvorschläge, die auf den optimalen Drehzahlen bei Handkurbelarbeit basieren.

"Für ergometrische Leistungen verschiedener Größe werden folgende Drehzahlen vorgeschlagen:

0 - 10 mkp/sec	30 (25-35) Umdrehungen/min
10 - 20 mkp/sec	40 (35-45) Umdrehungen/min
20 - 30 mkp/sec	50 (45-55) Umdrehungen/min
> 30 mkp/sec	60 (55-65) Umdrehungen/min.

Es ist praktisch nicht möglich, für jede Person und jede Leistung die optimale Drehzahl zu wählen. Es erscheint zweckmäßig und praktisch ausreichend, bei den üblichen Leistungen von 3 - 30 mkp/sec in einem mittleren Drehzahlbereich von 25 - 50 Umdrehungen/min zu bleiben. - Solange die Drehzahloptima für Fußkurbelarbeit noch nicht genauer bekannt ist, sollen sie zunächst auch für diese Arbeitsform verwandt werden. "

Eine Standardisierung der Fußkurbelarbeit im Sitzen ist somit dringend erforderlich. MELLEROWICZ empfiehlt, sich auch bei Fußkurbelarbeit solange an die Standardisierungsvorschläge für Handkurbelarbeit zu halten, bis auch hierfür Standardisierungsvorschläge vorliegen. ASTRAND schlägt für die submaximalen Leistungen 50 Umdrehungen vor. Andere Autoren empfehlen bei Leistungen von 6 - 20 mkp/sec 40 - 50 Pedalumdrehungen (GROSSE-LORDEMAN und MÜLLER).

Da wir die Drehzahloptima für Fußkurbelarbeit noch nicht sicher kennen, stellt sich die Frage, ob die PWC_{170} , ermittelt mit gleichen Belastungsstufen (75, 100, 125, 150 Watt), aber verschiedenen Drehzahlen (Methode A = 30 und 40, Methode B = 50 Umdrehungen/min), differiert. Die Aufgabe dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob und in welchem Maße die mit 2-minütigen Leistungsstufen bei 30 und 40 Umdrehungen/min ermittelte PWC_{170} und die mit 2-minütigen Leistungsstufen bei 50 Umdrehungen/min ermittelte PWC_{170} eines großen Untersuchungsgutes in ihren Endergebnissen differiert.

2. Methodik

2.1 Untersuchungsgut

Es wurden 34 männliche Versuchspersonen unterschiedlicher Leistungsfähigkeit aus verschiedenen Berufen im Alter von 20 - 34 Jahren untersucht. Ergab eine gründliche ärztliche Allgemeinuntersuchung keinen Hinweis für pathologische Veränderungen, wurde von den Probanden die PWC_{170} ermittelt. Die Versuchspersonen wurden in zufälliger Reihenfolge in zwei Gruppen eingeteilt, von denen die I-Gruppe mit Methode A, die II-Gruppe mit Methode B begann. Alter, Größe, Gewicht und Ruhe-Herzschlagfrequenz (im Liegen) der Versuchspersonen sind in der Tab. 1 bzw. 2 zusammengefaßt. Wesentliche konstitutionelle oder konditionelle Unterschiede der beiden Gruppen waren nicht erkennbar.

Tabelle 1

Gruppe I					Gruppe II				
Name	Alter	Größe cm	Gewicht kg vor A vor B		Name	Alter	Größe cm	Gewicht kg vor A vor B	
1. Pr.	31	164,0	56,3 56,2		1. Mel. Ho.	25	179,5	77,1 77,4	
2. Lü.	25	181,5	75,5 75,8		2. Te.	24	190,2	79,1 78,2	
3. Mah.	23	173,0	62,7 63,2		3. Schl.	24	192,0	91,2 91,6	
4. Sa.	29	169,0	54,9 54,5		4. Da.	26	175,5	65,0 65,2	
5. Ch.	26	165,5	58,5 58,4		5. Su.	27	186,5	83,0 83,1	
6. Mi.	27	173,0	64,0 64,1		6. Ma.	27	172,0	65,7 65,9	
7. Mo.	26	182,5	104,3 104,3		7. Mel. Ha.	20	184,5	81,1 81,1	
8. Bu.	25	188,0	85,8 85,7		8. Fe.	27	180,0	81,3 81,4	
9. Ta.	26	184,0	79,0 78,8		9. Si.	22	171,0	65,1 65,4	
10. Schö.	23	172,0	71,0 71,5		10. El.	26	191,5	93,9 93,3	
11. St.	24	178,0	68,0 68,3		11. Schu.	21	179,0	69,2 69,5	
12. Ew.	27	182,0	75,4 75,4		12. Th.	27	178,0	76,0 76,5	
13. Schm.	25	178,0	81,5 81,9		13. Di.	26	182,0	83,2 83,4	
14. Mel. Har.	24	174,0	78,0 77,3		14. Co.	28	175,0	68,1 68,5	
15. Mü.	34	182,0	81,5 81,9		15. Br.	23	172,0	65,2 65,1	
16. Fr.	32	185,5	81,7 81,6		16. Gre.	26	179,5	75,0 75,6	
17. Ha.	25	177,5	67,7 68,0		17. Kr.	24	170,0	66,6 66,6	
$\bar{x}$	26,5	177,0	73,2 73,3			24,8	179,8	75,6 75,7	
s	3,1	6,9	12,5 12,4			2,3	7,0	9,2 9,1	

Tabelle 2

Gruppe I	Ruhe-Herzschlagfrequenz im Liegen/min		Gruppe II	Ruhe-Herzschlagfrequenz im Liegen/min	
	vor A	vor B		vor A	vor B
1. Pr.	62	57	1. Mel. Ho.	63	67
2. Lü.	80	76	2. Te.	69	70
3. Mah.	78	74	3. Schl.	81	79
4. Sa.	77	80	4. Da.	81	80
5. Ch.	78	80	5. Su.	69	70
6. Mi.	74	76	6. Ma.	60	60
7. Mo.	80	76	7. Mel. Ha	62	56
8. Bu.	48	52	8. Fe.	54	60
9. Ta.	58	52	9. Si.	74	79
10. Schö.	62	66	10. El.	76	70
11. St.	52	50	11. Schu.	71	65
12. Ew.	56	58	12. Th.	66	69
13. Schm.	68	68	13. Di.	66	66
14. Mel. Har.	58	56	14. Co.	68	72
15. Mü.	60	55	15. Br.	68	70
16. Fr.	52	52	16. Gre.	48	46
17. Ha.	63	67	17. Kr.	62	70
$\bar{x}$	65.0	64.4		66.9	67.5
s	10.8	10.9		8.6	8.6

2.2 Versuchsablauf und Untersuchungsbedingungen

2.2.1 Versuchsablauf

Bei den Untersuchungen wurde stets Fußkurbelarbeit im Sitzen geleistet. Bei den Versuchspersonen wurde mit Hilfe zweier ergometrischer Methoden, deren Unterschied in verschiedenen Umdrehungszahlen/min lag, die PWC_{170} ermittelt. Vor jedem Versuch wurde die Sitzhöhe kontrolliert und den Standardisierungsvorschlägen (ICSPE) angepaßt.

Methode A: Ermittlung der PWC_{170} mit Hilfe von 3 - 4 zweiminütigen Leistungsstufen. Die Anfangsleistung wurde mit 75 Watt bei 30 Umdrehungen/min eingestellt. Danach wurde mit Steigerungsstufen von 25 Watt/2 min ansteigend belastet, wobei sich die Gesamtdauer des Versuchs nach dem individuellen Herzfrequenzverhalten der einzelnen Versuchspersonen richtete und zwischen 6 und 8 Minuten (letzte Belastungsstufe somit 125 bzw. 150 Watt) lag. Die Drehzahl wurde den internationalen Standardisierungsvorschlägen entsprechend (ICSPE 1966) bei den Leistungsstufen von 100 - 150 Watt auf 40 Umdrehungen/min eingestellt.

Methode B: Ermittlung der PWC_{170} mit Hilfe von 3 bzw. 4 zweiminütigen Leistungsstufen. Die Anfangsleistung wurde mit 75 Watt/min eingestellt. Im Gegensatz zu Methode A wurde mit einer konstanten Drehzahl von 50 Umdrehungen/min für alle drei bzw. vier Belastungsstufen (Steigerung 25 Watt/2 min bis 125 bzw. 150 Watt) gearbeitet. Die Herzfrequenz beider Methoden wurde jeweils in der 50. - 60. Sekunde der 2., 4., 6. und 8. Minute aufgezeichnet.

Der Drehzähler war für die Probanden gut erkennbar angebracht. Das exakte Einhalten der vorgegebenen Umdrehungszahl wurde ständig überwacht, und wenn nötig erfolgte die Aufforderung zum exakten Treten.

Um weder die Methode A noch die Methode B bei der vergleichenden Untersuchung durch Gewöhnung zu begünstigen, wurden die Versuchspersonen nach der zufälligen Reihenfolge des Erscheinens in zwei Gruppen eingeteilt, von denen die I-Gruppe mit Methode A, die II-Gruppe mit Methode B begann.

2. 2. 2 Untersuchungsbedingungen

Um die Umweltbedingungen während der vergleichenden Untersuchung der zwei Methoden A und B nahezu konstant zu halten, wurden folgende Bedingungen vor Untersuchungsbeginn kontrolliert. Die Versuchszeit lag zwischen 9.00 und 12.00 Uhr. Das Raumklima schwankte in folgenden Grenzen:

Raumtemperaturen:	20 - 23 ⁰ C
Relative Luftfeuchtigkeit:	46 - 55 %
Luftdruck:	749 - 775 mmHg.

Bezogen auf die einzelne Versuchsperson betrug der höchste Unterschied 1⁰ C für die Temperatur, 4 % für die relative Luftfeuchtigkeit und 7 mmHg für den Luftdruck.

Vor den Untersuchungen ruhten die Probanden 15 Minuten in entspannter Körperhaltung. Ihnen wurde die Bedeutung und der Ablauf der Versuche vorher eingehend erklärt. Die Ruhe-Herzfrequenz im Liegen wurde vor Testbeginn gemessen. Mit dem zweiten Test wurde erst dann begonnen,

wenn die Ruhe-Herzfrequenz mit dem ersten Wert nahezu identisch war. War jedoch die Herzfrequenz zu hoch, so wurde die Erholungszeit verlängert und die Herzfrequenz im Abstand von jeweils 5 Minuten gemessen, solange, bis der Ausgangswert erreicht war.

2.3 Meßgeräte

2.3.1 Ergometer

Zur ergometrischen Untersuchung diente ein elektrisch gebremstes Ergometer der Firma Lode (Groningen) mit einem elektrischen Drehzahlmeßgerät.

2.3.2 EKG-Gerät

Zur Aufzeichnung der Herzschlagfrequenz diente das EKG-Gerät CARDIREX der Firma Siemens. Die Papiergeschwindigkeit betrug 50 mm pro Sekunde.

2.3.3 Stoppuhr

Um die vorgegebenen Zeiten exakt einzuhalten, wurde eine geeichte Stoppuhr verwendet.

2.4 Leistungsumsatzbedingungen

Bei allen ergometrischen Untersuchungen wurden die Leistungsumsatzbedingungen nach Vereinbarung des Standardisierungskomitees für Ergometrie im ICSPE eingehalten.

- a) Die Ernährung vor dem Untersuchungstag ist möglichst wenig zu ändern. Am Untersuchungstage ist bis drei Stunden vor der Untersuchung eine kleine Mahlzeit mit geringer kcal-Menge erlaubt (2 Scheiben Brot mit Aufstrich und 1 Glas Getränk, z. B. Wasser, Fruchtsaft, Milch).

- b) Am Vortage sind größere psychische und physische Beanspruchungen, am Untersuchungstage auch kleine körperliche sowie andere Beanspruchungen vor der Untersuchung zu vermeiden, weil sie den Leistungsumsatz bei ergometrischen Untersuchungen verändern können.
- c) Bei der Untersuchung soll aus thermoregulatorischen Gründen nur eine kurze Hose getragen werden.
- d) Vor der Untersuchung ist dem Probanden der Gang der Untersuchung zu erklären. Er ist möglichst zu beruhigen. Außenreize sind weitmöglichst abzuschalten, z. B. Lärm, Unterhaltung, Zugluft, Blick auf verkehrsreiche Straße usw., überflüssige Personen sind zu entfernen.
- e) Die Raumtemperatur soll möglichst $+ 18$ bis $+ 22^{\circ} \text{C}$ betragen und $+ 16$ bis $+ 24^{\circ} \text{C}$ nicht unter- bzw. überschreiten bei einer relativen Luftfeuchtigkeit bis 60 %. Bei höheren Temperaturen und höherer Luftfeuchtigkeit sind entsprechende Korrekturfaktoren zu berücksichtigen. An heißen Tagen mit hoher Luftfeuchtigkeit sind ergometrische Untersuchungen möglichst zu unterlassen.
- f) Alle Medikamente, auch Genußmittel wie Kaffee, Tee und Nikotin sind am Untersuchungstage, Medikamente mit länger anhaltender Wirkung auch bereits an den Vortagen zu vermeiden. Erforderliche Medikationen sind im Untersuchungsprotokoll zu vermerken.

- g) Die Tageszeit der ergometrischen Untersuchung ist anzugeben. Bei wiederholten vergleichenden Untersuchungen ist möglichst die gleiche Tageszeit zu wählen, weil ja die Leistungsfunktionen sich im Laufe des Tages verändern.
- h) Vor Beginn der Untersuchung soll der Proband minimal 10 Minuten sitzend, besser liegend, ruhen.
- i) Ungewöhnliche Verhältnisse sind auf dem Untersuchungsprotokoll zu vermerken.

2.5 Methodik der Herzfrequenzmessung

Die Herzfrequenz wurde mit Hilfe einer EKG-Registrierung ermittelt. Zur elektrokardiographischen Herzfrequenzregistrierung wurde folgende Elektrodenanordnung gewählt:

Die 1. Elektrode am rechten Arm, die 2. Elektrode am linken Arm, die 3. wurde in der Gegend der Herzspitze, im 5. ICR, fixiert. Die 4. Elektrode befand sich in der Axillarlinie handbreit über der Beckenschaufel.

Die Registrierung erfolgte mit einer Transportgeschwindigkeit von 50 mm/sec. Die Ruhefrequenz (im Liegen) wurde jeweils 15 Minuten vor Beginn beider Methoden gemessen. EKG-Registrierung erfolgte während der Arbeit, zwischen der 50. und 60. Sekunde jeder zu bestimmenden Minute.

2.6 Statistische Methodik

Der statistischen Berechnung liegen folgende Formeln zugrunde:

- a) Arithmetischer Mittelwert $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

- b) Standardabweichung s

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

- c) Mittlerer Fehler des Mittelwertes s_M

$$s_M = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

- d) Mittlere Abweichung der Differenz $s_{\text{Diff.}}$

$$s_{\text{Diff.}} = \sqrt{s_{M_1}^2 + s_{M_2}^2}$$

- e) Signifikanz der Mittelwertdifferenzen
(nach t-Test)

$$t = \frac{M_1 - M_2}{s_{\text{Diff.}}}$$

Dann p-Werte aus der t-Verteilungstabelle entnehmen.

p = Irrtumswahrscheinlichkeit.

Die Signifikanz wurde nach üblicher statistischer Methodik beurteilt.

$p > 0,05$	nicht signifikant
$0,005 < p < 0,05$	wahrscheinlich signifikant
$p < 0,005$	sicher signifikant.

2.7 Kritik der Methodik

2.7.1 Kritik am Untersuchungsgut

Alle Versuchspersonen wurden am Untersuchungstag vor den Untersuchungen nach der Einhaltung folgender Leistungsumsatzbedingungen gefragt: Nach der Ernährung, nach den physischen und psychischen Beanspruchungen, nach Medikamenten und Genußmitteln, die sie am Vortag oder am Tag der Untersuchung zu sich genommen hatten.

Nur bei den Probanden, die die definierten Leistungsumsatzbedingungen eingehalten hatten, wurde die PWC₁₇₀ ermittelt. Allerdings war die subjektive Angabe der Probanden nicht objektiv exakt kontrollierbar.

2.7.2 Kritik an den Untersuchungsbedingungen

Vor jedem Versuch wurde eine Mindesterholungszeit von 15 Minuten eingehalten und danach die Herzfrequenz im Liegen kontrolliert.

Um eine etwaige Begünstigung irgendeiner Methode durch Gewöhnung auszuschließen, wurden die Probanden in zwei Gruppen und die Reihenfolge der Versuche folgendermaßen verteilt: Gruppe I: A - B ; Gruppe II: B - A.

Temperatur, Luftdruck und relative Luftfeuchtigkeit im Untersuchungsraum wurden kontrolliert. Eine Gleichheit dieser Faktoren bei den beiden zu vergleichenden Methoden konnte nur annähernd eingehalten werden.

2.7.3 Kritik an den Untersuchungsgeräten und deren Handhabung

Um zu reproduzierbaren Ergebnissen zu kommen, wurde vor Beginn des gesamten Experimentes das Ergometer der Firma Lode (Groningen) nebst Drehzahlmesser geeicht. Der Vorschub des verwendeten EKG-Gerätes wurde von der Firma Siemens vor Beginn der Versuche geprüft. Die Registrierung der Herzfrequenz erfolgte, wie bereits beschrieben, zwischen der 50. und 60. Sekunde am Ende der zu bestimmenden Minute. Da nach Einschaltung des Gerätes der Transport erst nach 4 Sekunden beginnt, wurden somit nur die letzten 6 Sekunden der Meßminute zur Ermittlung der Herzschlagfrequenz verwendet. Bei exakter Durchführung der Messung kann der Meßfehler kleiner als $\pm 1\%$ gehalten werden. Größer als dieser Meßfehler der momentanen HF sind jedoch physiologische Schwankungen der Leistungs-HF.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Übersicht in Tabellenform

3.1.1 Tabelle 3 a zeigt die für die entsprechende Wattzahl gemessene Herzfrequenz und die Mittelwerte der Methode A und B der Gruppe I, bei der stets mit der Methode A begonnen wurde.

Tabelle 3 b zeigt das Entsprechende für die Gruppe II, bei der stets mit der Methode B begonnen wurde.

3.1.2 Tabelle 4 a gibt die PWC_{170} der Gruppe I für Methode A und B in Watt und in Watt/kg Körpergewicht sowie die Differenz in Prozent an.

Tabelle 4 b zeigt das Entsprechende für die Gruppe II.

3.1.3 Der Tabelle 5 sind die Mittelwerte der PWC_{170} in Watt, Watt/kg Körpergewicht und deren Standardabweichung für die Methode A und B von der Gruppe I, Gruppe II und beiden Methoden gemeinsam sowie die Differenz in Prozent zu entnehmen.

3.2 Graphische Darstellung

3.2.1 Abbildung 1 zeigt das verwendete Diagramm und die Ermittlung der PWC_{170} für die Methode A und B bei einem Probanden. Auf der Ordinate ist die Herzfrequenz/min und auf der Abszisse die Leistung in Watt aufgetragen. Bei der Herzfrequenz von 170 ist eine Parallele zur Abszisse eingezeichnet, deren Schnittpunkt mit der durch die ermittelten Meßdaten gelegten Geraden die PWC_{170} angibt.

- 3.2.2 Abbildung 2 stellt die PWC_{170} -Gerade von 17 Probanden in einem Diagramm dar, und zwar für die Gruppe I (Methode A vor B).
- 3.2.3 Abbildung 3 entspricht Abbildung 2, nur für die Gruppe II (Methode B vor A).
- 3.2.4 Abbildung 4 stellt die PWC_{170} -Gerade mit ihren Standardabweichungen aller Untersuchungspersonen (Gruppe I und Gruppe II gemeinsam) für Methode A und B in einem Diagramm dar.

Die aus 34 Probanden gemittelten PWC_{170} -Geraden, wie sie den Abbildungen 2, 3 und 4 zu entnehmen sind, wurden auf folgende Art und Weise ermittelt: Es wurde für jede einzelne Versuchsperson eine PWC_{170} -Gerade gezeichnet (Abb. 1) und aus dieser der adaequate Wattwert entsprechend für die Herzfrequenzen von 170 Schlägen/min dem Koordinatensystem entnommen. Für alle 34 Probanden wurden die Mittelwerte dieser Wattzahlen berechnet und somit die mittlere PWC_{170} -Gerade gezeichnet.

Tabelle 3 a

Gruppe I (A vor B)	Methode A				Methode B			
	75 W	100 W	125 W	150 W	75 W	100 W	125 W	150 W
1. Pr.	95	110	125	143	87	110	120	145
2. Lü.	103	115	123	127	97	101	120	125
3. Mah.	133	140	149	-	118	130	145	-
4. Sa.	125	146	160	-	137	160	172	-
5. Ch.	119	140	156	-	122	146	159	-
6. Mi.	112	127	138	150	120	132	146	156
7. Mo.	111	124,5	136	150	104	115	122	137
8. Bu.	87	95	115	125	95	112	117	133
9. Ta.	93,5	100	109	122,5	93	102	108	112
10. Schö.	95	109	118	137	105	111	125	140
11. St.	98,5	115	127,5	132	100	110	115	135
12. Ew.	84	102	98	116	87	101	106	115
13. Schm.	97,5	111	121	130	102	114	127	138
14. Mel. Har.	105	108,5	111	122	93	102,5	108	115
15. Mü.	105,5	119	132	141	102	112,5	120	135
16. Fr.	77	83	94	110	83	92	103	120
17. Ha.	119	133	151	160	94,5	127,5	147	163,5
$\bar{x}$	103,5	116,3	127,2	133,2	102,3	116,3	127,0	133,5
s	15,0	17,1	19,3	14,2	14,4	17,5	19,8	15,2

Tabelle 3 b

Gruppe II (B vor A)	Methode A				Methode B			
	75 W	100 W	125 W	150 W	75 W	100 W	125 W	150 W
1. Mel. Ho.	82	92	97	106	92	95	107	115
2. Te.	94	103	112	125	98	104	110	128
3. Schl.	101	105	121	132	110	125	125	140
4. Da.	111	127	143	-	118	137	150	-
5. Su.	105,5	117	132	142	105,5	117,5	130	140
6. Ma.	84	96	114	130	85	102	115	126
7. Mel. Ha.	102	112	125	132	107	111	128	135
8. Fe.	82	96	102	106	84	99	104	112
9. Si.	127	136	160	-	120	129	160	-
10. El.	83	102	107	119	92	97	107	120
11. Schu.	105	118	127	138	106	115	125	132
12. Th.	105	125	135	150	115	130	148	162
13. Di.	94	106	119,5	126	99	104	120	125
14. Co.	103	124	131	140	110	123	130	136
15. Br.	98	106	117	132	93	99	127	131
16. Gre.	85	96	111,5	120	87	96	108,5	114
17. Kr.	110	119	130	137	111	118	130	139
$\bar{x}$	98,3	110,5	122,5	129,0	101,9	111,8	124,9	130,3
s	12,4	12,8	12,9	12,4	11,6	13,5	16,1	12,8

Tabelle 4 a

Gruppe I	PWC ₁₇₀ in Watt		PWC ₁₇₀ in Watt/kg		Diff. in % B - A
	A	B	A	B	
1. Pra.	195	191	3,46	3,39	- 2,06
2. Lü.	278	272	3,68	3,58	- 2,79
3. Mah.	192	174	3,06	2,75	- 11,27
4. Sa.	135	122	2,45	2,23	- 9,86
5. Ch.	140	139	2,39	2,38	- 0,42
6. Mi.	185	175	2,89	2,73	- 5,86
7. Mo.	188	224	1,80	2,14	+ 15,88
8. Bu.	223	221	2,59	2,57	- 0,77
9. Ta.	278	284	3,51	3,60	+ 2,50
10. Schö.	217	202	3,03	2,82	- 7,44
11. St.	223	247	3,29	3,61	+ 8,86
12. Ew.	245	264	3,24	3,50	+ 7,42
13. Schm.	228	216	2,79	2,63	- 6,08
14. Mel.Har.	244	282	3,12	3,64	+ 14,28
15. Mü.	206	226	2,52	2,75	+ 8,36
16. Fr.	255	235	3,12	2,87	- 8,71
17. Ha.	158	156	2,33	2,29	- 1,74
$\bar{x}$	211	213	2,89	2,91	
s	42,7	49,0	0,49	0,53	

Tabelle 4 b

Gruppe II	PWC ₁₇₀ in Watt		PWC ₁₇₀ in Watt/kg		Diff. in % B - A
	A	B	A	B	
1. Mel. Ho.	300	287	3,88	3,70	- 4,86
2. Te.	254	239	3,21	3,05	- 5,24
3. Schl.	228	197	2,50	2,15	- 16,27
4. Da.	168	156	2,58	2,39	- 7,94
5. Su.	200	203	2,40	2,50	+ 4,00
6. Ma.	237	229	3,60	3,47	- 3,74
7. Mel. Ha.	234	226	2,88	2,78	- 3,59
8. Fe.	294	267	3,61	3,28	- 10,06
9. Si.	148	154	2,27	2,35	+ 3,40
10. El.	277	288	2,94	3,08	+ 4,54
11. Schu.	227	250	3,28	3,59	+ 8,63
12. Th.	182	160	2,39	2,09	- 14,35
13. Di.	265	258	3,18	3,09	- 2,91
14. Co.	205	224	3,01	3,27	+ 7,95
15. Br.	227	202	3,48	3,10	- 12,25
16. Gre.	246	285	3,28	3,76	+ 12,76
17. Kr.	233	232	3,49	3,48	- 0,28
$\bar{x}$	230	227	3,05	3,00	
s	41,6	43,8	0,49	0,49	

Tabelle 5

	PWC ₁₇₀ in Watt + Stand. abweichung	PWC ₁₇₀ in Watt/kg + Stand. abweichung	Diff. in % B - A	Diff. in % B - A	Irrtums- wahr- scheinlich- keit
	Methode A Methode B	Methode A Methode B	(PWC ₁₇₀ in Watt)	(PWC ₁₇₀ in Watt/kg)	
Gruppe I	211 ± 42,7 213 ± 49,0	2,89 ± 0,49 2,91 ± 0,53	+ 1,10	+ 0,68	p > 0,05
Gruppe II	230 ± 41,6 227 ± 43,8	3,05 ± 0,49 3,00 ± 0,49	- 1,63	- 1,66	p > 0,05
Gruppe I und Gruppe II gemeinsam	221 ± 42,7 220 ± 46,3	2,97 ± 0,49 2,95 ± 0,53	- 0,30	- 0,67	p > 0,05

Name: Kr. Datum: 6. 11. 75/ 7. 11. 75 PWC₁₇₀: 233 232
 Vorname: G. Größe: 170, 0 cm Normalwert:
 geb.: 19. 7. 1952 Gewicht: A = 66, 6 kg B = 66, 6 kg PWC₁₇₀/kg: 3, 49 3, 48

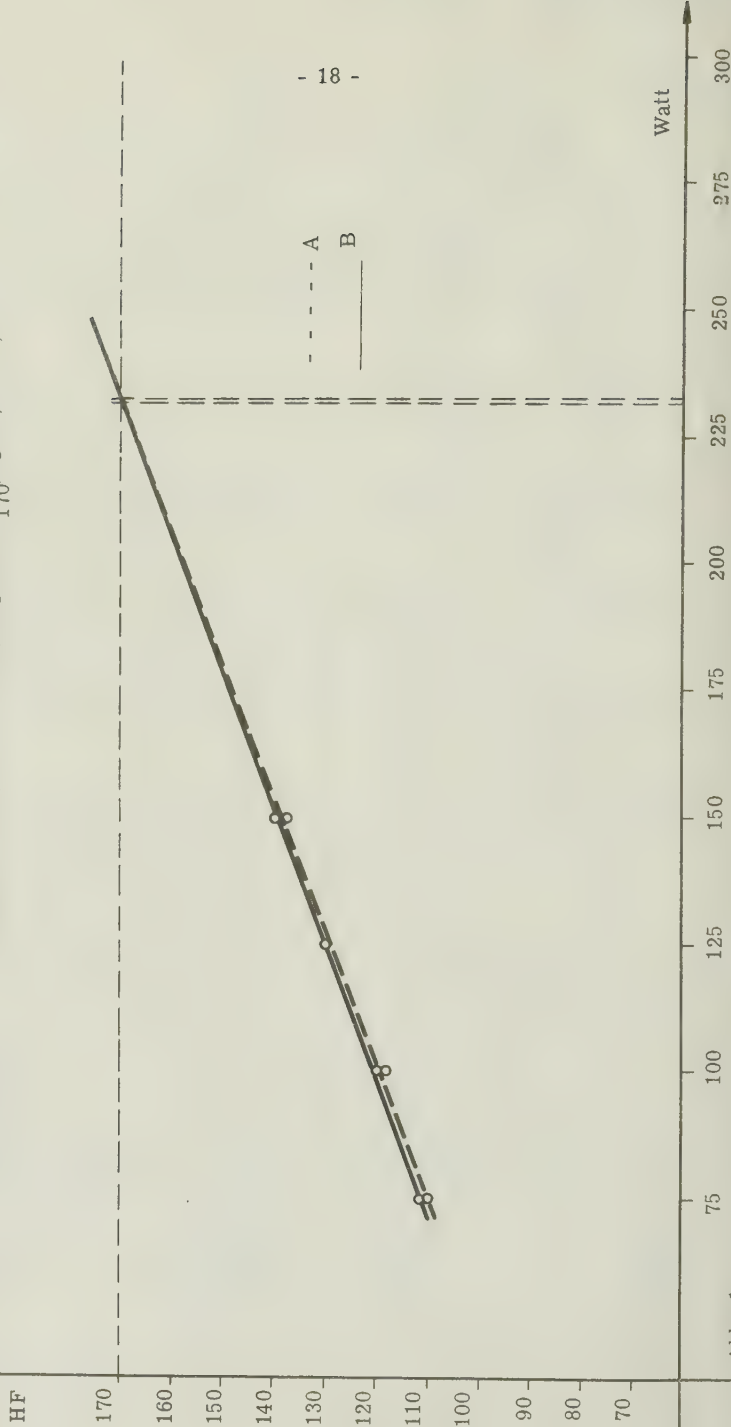


Abb. 1

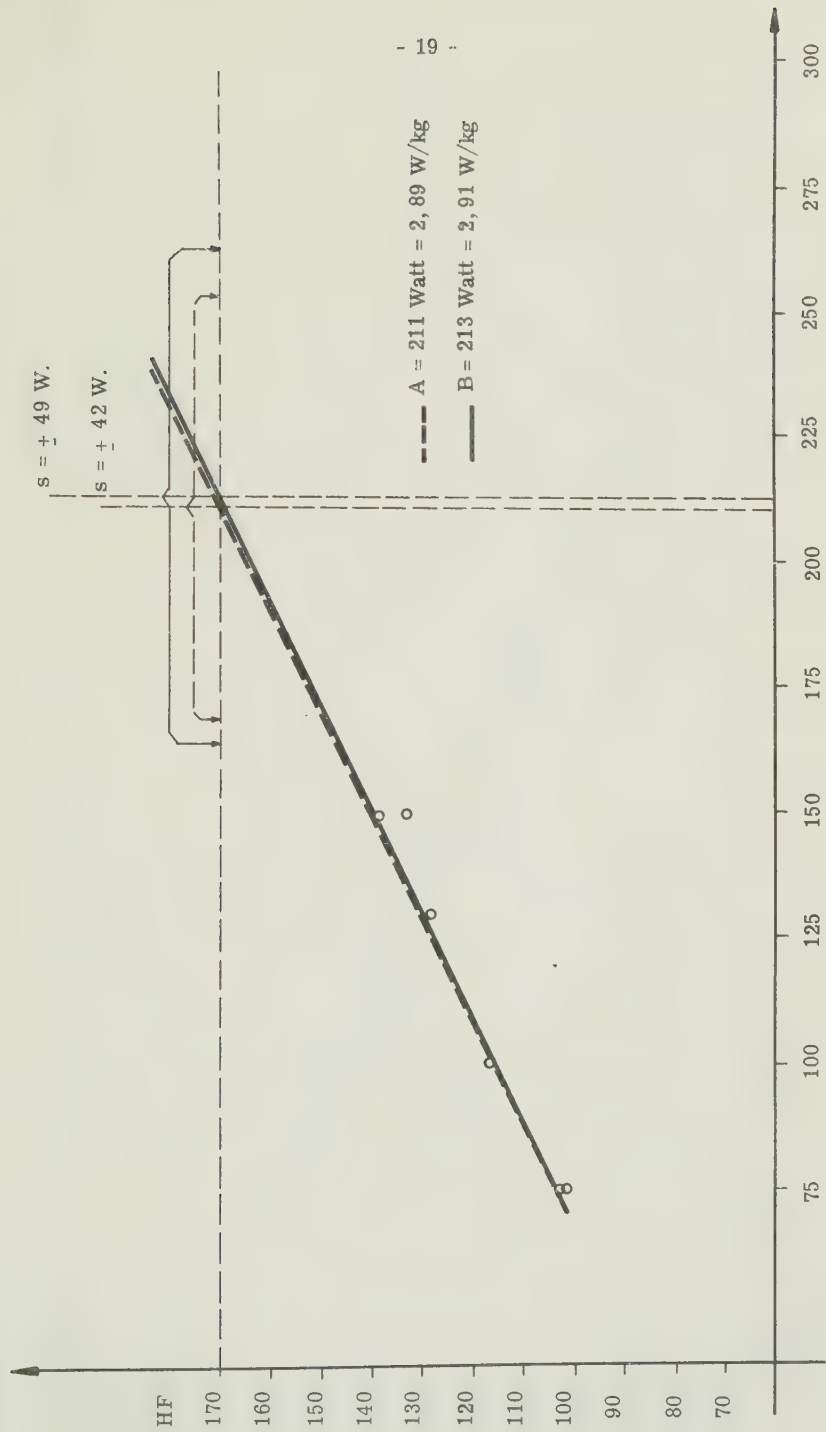


Abb. 2

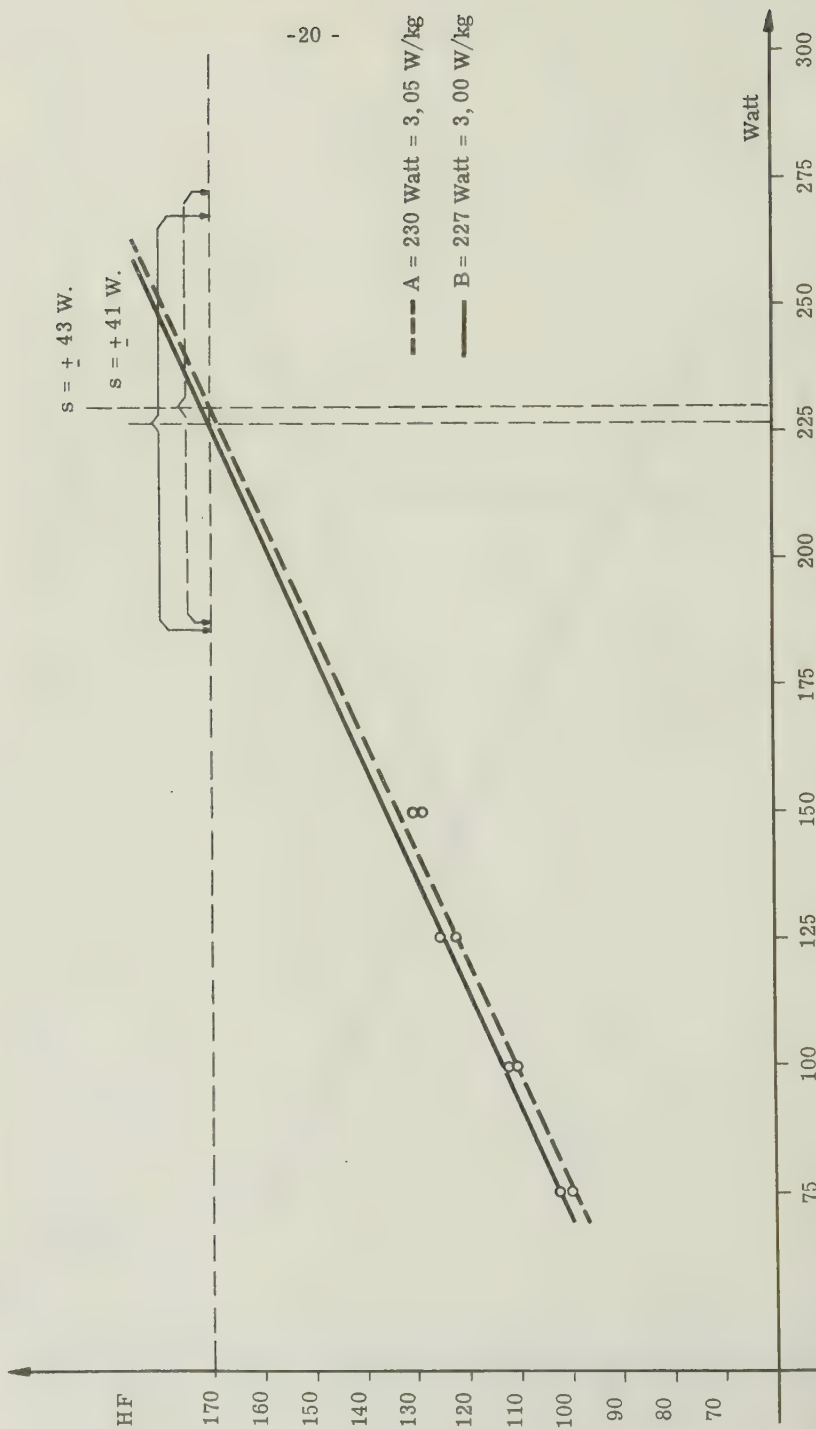


Abb. 3

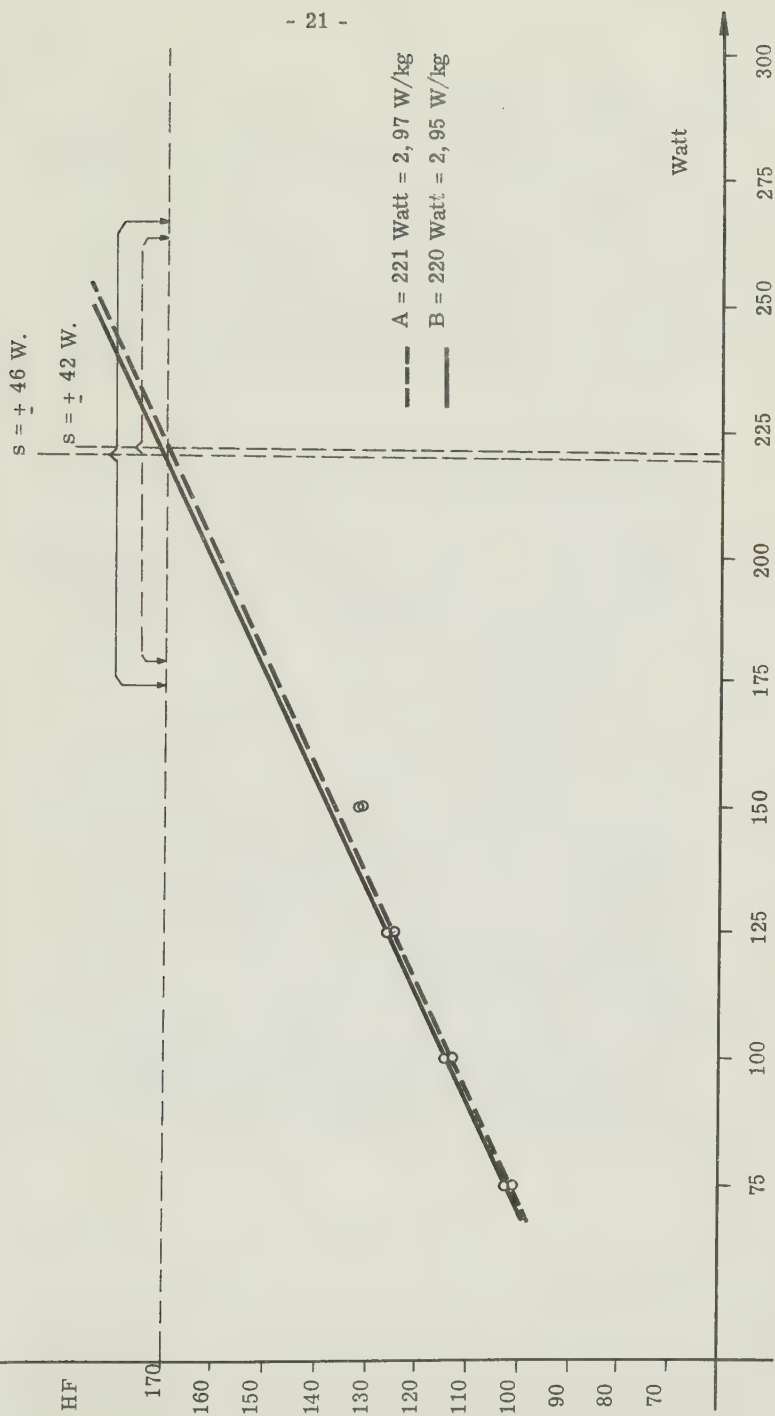


Abb. 4

4. Beurteilung der Ergebnisse

- 4.1 Wie oben dargestellt, betrug die für 34 Personen ermittelte PWC_{170} bei
Methode A: 221 Watt bzw. 2,97 Watt/kg Körpergewicht,
Methode B: 220 Watt bzw. 2,95 Watt/kg Körpergewicht.
Der Unterschied von nur 1 Watt bzw. 0,02 Watt/kg Körpergewicht (- 0,67 %) ist bei einem $p > 0,05$ nicht signifikant und liegt weit unter der ergometrischen Fehlerbreite ($= \pm 2 \%$).
- 4.2 Beide Methoden führten also nahezu zum gleichen Ergebnis; d. h. sie ergaben nahezu die gleiche PWC_{170} . Der graphischen Darstellung der PWC_{170} aller 34 Versuchspersonen (Abb. 4) ist zu entnehmen, daß die den Belastungsstufen entsprechenden Herzfrequenzen beider Methoden auf zwei Geraden liegen, die nahezu parallel verlaufen und zum oben beschriebenen Ergebnis führen.
- 4.3 Von MELLEROWICZ, REINDELL, HOLLMANN, KLAUS, MIES und ROSKAMM (12) wurden Standardisierungsvorschläge für Handkurbelarbeit erarbeitet und festgelegt. Obwohl sich verschiedene Autoren mit der Frage nach den optimalen Drehzahlen bei Fußkurbelarbeit beschäftigt haben, existieren bis jetzt noch keine gut fundierten Standardisierungsvorschläge für Fußkurbelarbeit.
ECKERMANN und MILLAHN (5) untersuchten an zwölf 18- bis 32-jährigen untrainierten Männern den Einfluß der Tretfrequenz auf die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz bei konstanter Leistung am Fahrradergometer.

Dabei verglichen sie für die Belastungsstufe von 100 und 150 Watt die Drehzahl von 30, 40, 60 und 90 U/min. Sie fanden, daß der O_2 -Verbrauch und die Pulsfrequenz bei den Belastungsstufen von 100 bis 150 Watt mit 40 und 50 U/min am niedrigsten ist. Bei 90 und 30 U/min (100 und 150 Watt) ist der O_2 -Verbrauch und die Pulsfrequenz demgegenüber deutlich erhöht. Sie schlugen für Belastungsstufen zwischen 100 - 150 Watt deshalb als Drehzahloptimum 45 U/min vor. Dieser Vorschlag deckt sich mit den Ergebnissen von GROSSE-LORDEMAN und E. A. MÜLLER (8), die das Arbeitsmaximum als Funktion der Drehzahl auftrugen und an zwei Versuchspersonen bei Leistungen zwischen 60 und 200 Watt die größten Arbeitsmaxima zwischen 40 und 50 U/min fanden. 45 U/min werden auch von HENDRIK (9) als empfehlenswerte Drehzahl bei fahrradergometrischen Untersuchungen angegeben. SCHMIDT (17) schlägt auch 40 bis 50 U/min als optimale Drehzahl bei Tretkurbelarbeit im 50- bis 100-Watt-Bereich vor.

- 4.4 An dieser Stelle sei die Diskussion über die optimale Umdrehungszahl für die Ermittlung der PWC_{170} aufgenommen. Alle Versuchspersonen gaben an, daß es ihnen Schwierigkeiten bereitete, bei der Methode A (Anfangsbelastung von 75 Watt) die 30 U/min exakt einzuhalten, wie es auch schon von SCHMIDT (17) berichtet wurde. Außerdem fand SCHMIDT bei Belastungsstufen von 75 bzw. 100 Watt mit 30 U/min die höchsten systolischen Blutdruckanstiege (höher als mit 40 bzw. 50 U/min). ECKERMAN und MILLAHN (5) konnten

zeigen, daß die PWC_{170} ermittelt mit einer Drehzahl von 30 U/min, um 14 % und mit einer Drehzahl von 90 U/min um 30 % niedriger als mit einer Drehzahl von 50 U/min liegt.

Nach Untersuchungen mit verschiedenen Drehzahlen bei sechsminütigen Belastungsstufen von 50, 100, 150 und 200 Watt Handkurbelarbeit empfiehlt MELLEROWICZ (11) für den Bereich von 100 bis 200 Watt Drehzahlen zwischen 40 - 50 U/min.

Obwohl nach der hier vorliegenden Arbeit die beiden Methoden zu keinem signifikanten Unterschied führten, empfiehlt es sich aufgrund der oben zitierten Literatur und der Schwierigkeit, niedrige Drehzahlen exakt einzuhalten, im Belastungsbereich von 75 - 150 Watt mit 50 U/min zu arbeiten. Für 50 U/min würde auch die Tatsache sprechen, daß die Wattskaala des weitverbreiteten Monark-Ergometers von Astrand auf 50 U/min berechnet wurde.

Auch benutzten FRANZ (6) und CHINTANASERI (3) bei vergleichenden Untersuchungen zur Bestimmung der PWC_{170} mit unterschiedlichen Leistungsstufen (Stufen 10 Watt/min; 25 Watt/2 min und 1 Watt/kg/3 min: Franz; bzw. Stufen 25 Watt/2 min und 50 Watt/6 min: Chintanaseri) 50 U/min. Hierbei ergab die Bestimmung der PWC_{170} mit unterschiedlichen Belastungsstufen keinen Unterschied.

- 4.5 Wie schon FRANZ (6) und CHINTANASERI (3) zeigen konnten, bestätigt auch diese Arbeit, daß die Ermittlung der PWC_{170} eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der cardio-corporalen Leistungsbreite darstellt.

5. Zusammenfassung

Es wurde an 34 männlichen unterschiedlich trainierten Probanden die PWC_{170} mit gleichen Leistungsstufen, aber unterschiedlicher Tretfrequenz/min bestimmt.

Methode A: 3 bzw. 4 zweiminütige Leistungsstufen:

75 Watt	30 Umdrehungen/min
100 Watt)	
125 Watt)	40 Umdrehungen/min
150 Watt)	

Methode B: 3 bzw. 4 zweiminütige Leistungsstufen:

75 Watt)	
100 Watt)	50 Umdrehungen/min.
125 Watt)	
150 Watt)	

Es ergaben sich folgende ermittelte PWC_{170} -Werte und Standardabweichungen für die

Methode A: 221 Watt entsprechend $2,97 \pm 0,49$ Watt/kg Körpergewicht

Methode B: 220 Watt entsprechend $2,95 \pm 0,53$ Watt/kg Körpergewicht.

Das entspricht einer Differenz von nur - 0,67 ‰. Diese Differenz ist bei einem $p > 0,05$ statistisch nicht signifikant.

6. Literatur

1. ASTRAND, P. -O. : Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age. Munksgaard Copenhagen, 1952.
2. ASTRAND, P. -O. , K. RODAHL: Textbook of Work Physiology. Mc Graw-Hill, Inc. New York, 1970.
3. CHINTANASERI, CH. : Untersuchung zur Bestimmung der PWC₁₇₀ mit unterschiedlichen Leistungsstufen. Inaugural-Dissertation Freie Universität Berlin, 1973.
4. DRASCHE, H. : Ergometrie in der Arbeitsmedizin. In: II. Internationales Seminar für Ergometrie. Ergon-Verlag Berlin, 1967.
5. ECKERMANN, P. , H. P. MILLAHN: Der Einfluß der Tretfrequenz auf die Sauerstoffaufnahme und die Herzfrequenz bei konstanter Leistung am Fahrradergometer. In: Methoden und Probleme der angewandten und Leistungsphysiologie. VEB-Verlag Volk und Gesundheit Berlin, 1967.
6. FRANZ, I. : Vergleichende Untersuchungen zur Bestimmung der PWC₁₇₀. Inaugural Dissertation Freie Universität Berlin, 1973.
7. FREUDENBERG, K. : Grundriß der medizinischen Statistik. Schattauer-Verlag Stuttgart, 1962.

8. GROSSE-LORDEMAN, H., E. A. MÜLLER:
Der Einfluß der Leistung und der Arbeitsgeschwindigkeit
auf das Arbeitsmaximum und den Wirkungsgrad beim
Radfahren. Arbeitsphysiologie 9 (1937).
9. HENDRIK, A.: Untersuchungen zur optimalen ergometrischen
Belastung. Z. Inn. Med. 19, 690 (1964).
10. HOLLMANN, W.: Höchst- und Dauer-Leistungsfähigkeit
des Sportlers. Joh. Ambrosius Barth München, 1963.
11. MELLEROWICZ, H.: Ergometrie. Grundriß der medizi-
nischen Leistungsmessung. 2. Aufl. Urban & Schwarzenberg
München-Berlin, 1975.
12. MELLEROWICZ, H., H. REINDELL, W. HOLLMANN,
E. J. KLAUS, H. MIES und H. ROSKAMM: Vorschläge zur
Standardisierung der ergometrischen Leistungsmessung.
Zschr. Kreisf. forsch. 50, 273 (1961).
13. MESSIN, R., S. DEGRE, P. VANDERMOTEN and
H. DENOLIN: Ergometry in Cardiology. In: II. Internationales
Seminar für Ergometrie. Ergon-Verlag Berlin, 1967.
14. NOWACKI, P. E.: Der Wirkungsgrad bei ergometrischer
Leistung. In: Ergebnisse der Ergometrie. Peri' med Verlag
Erlangen, 1975.

15. ROSKAMM, H., H. REINDELL, K. KÖNIG: Körperliche Aktivität und Herz- und Kreislauferkrankungen. Joh. Ambrosius Barth München, 1966.
16. SCHMIDT, F. L. : Herzschlagfrequenz und Leistung. Verl. S.Karger Basel, 1973.
17. SCHMIDT, F. L. : Über den Einfluß der Umdrehungszahl auf verschiedene Parameter des kardiopulmonalen Systems während Tretkurbelarbeit bei submaximaler Belastung. In: II. Internationales Seminar für Ergometrie. Ergon-Verl. Berlin, 1967.

Herrn Professor Dr. med. H. Mellerowicz, Leiter des
Instituts für Leistungsmedizin Berlin, und seinen
Mitarbeitern danke ich für das Ermöglichen der Unter-
suchungen, die Beratung in jeder Phase und die Hilfe
bei der Durchführung dieser Arbeit.

Dem Deutschen Akademischen Austauschdienst bin ich
für die Genehmigung meines Aufenthaltes in Deutschland
und die finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Am 17. Januar 1944 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Chaiwat Prasertsiriphandha und seiner Ehefrau Chuihun in Nakorn-Pathom geboren.

Nach Absolvierung der Grund- und Oberschule in Chumporn erhielt ich 1963 die Hochschulreife. Im Juni 1964 begann ich mit dem Studium der Leibeserziehung an der Chulalongkorn-Universität in Bangkok, das ich 1968 als Diplom-Sportlehrer abschloß. 1970 bestand ich das Staatsexamen für Erziehungswissenschaft (Master of Education in Leibeserziehung).

Seit 1968 bin ich als Sportlehrer und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Sports Science Centre Bangkok beschäftigt.

Im August 1974 kam ich als Stipendiat des Deutschen Akademischen Austauschdienstes nach Deutschland, um meine Kenntnisse in der Sportwissenschaft zu erweitern und zu vertiefen.

Nach Erlernen der deutschen Sprache mit anschließender Sprachprüfung an der Freien Universität Berlin begann ich mit meiner Weiterbildung und mit meiner wissenschaftlichen Arbeit im Institut für Leibeserziehung und Sportmedizin bzw. Institut für Leistungsmedizin .

